

双対動作における筋電図と意識の関係

小林一敏*, 高山伸也**, 島野敬四郎***

The relationship between mental concentration on movement
and EMG in dual motion

Kazutoshi KOBAYASHI, Shinya TAKAYAMA and Keishirou SHIMANO

Abstract

The purpose of this study was to clarify the influence of dual motion in the performance of various sports. Motions that feature mutual dynamic operations are known as dual motion. Such motions may be divided into two types of movement which, although they may appear to share the same motions, may actually arise from quite different levels of mental concentration.

For the purpose of this study, the body was taken as divided into two sections, M1 and M2. Each of these sections was the subject of mental concentration in producing the power of a movement (M(A)) and maintaining the "shape" of the movement (M(O)). Thus, [M1(A), M2(O)] and [M1(O), M2(A)] served to indicate these two types of movement (dual motion).

Two experiments on dual motion were conducted.

- 1) The motion of twisting the upper half of the body to the left was performed on a turntable.
- 2) A kick with the instep was performed without a football.

EMGs were recorded and movements were filmed during these experiments.

The result obtained in this study may be summarized as follow:

The divided motions [M1(A), M2(O)] and [M1(O), M2(A)] were demonstrated not only by the differing level of mental concentration but also by differing muscular activity in dual motion.

《緒言》

最初に本論分で述べようとする考え方の概念と、用いられる専用用語について説明させていただく。

ある身体部位の運動は他の部位の運動に何らかの影響を与える。外力が働かなければ運動量や角運動量は保存されるが身体内で運動量や角運動量を打ち消し合うような瞬発的な運動の場合には、多少、外力が働いても先の保存則は重要となる。

ここでは2つの部位の間に「双対（そうつい）

【双対動作】

*教授, **助手, ***大学院生

な動作」と呼ばれる関係がある場合を考えてみる。摩擦による外力を小さくして、身体部位間の運動の相互作用を観察しやすくした図1のようなボールベアリングの台にのる。ラケットを振る動作 M1を行うと、ひとりでに逆方向のねじれ動作 M2が生じる。次にラケットの腕を軽く伸ばしておき、下肢部をねじる動作 M2を行うとひとりでに M1が生じる。このような M1と M2の関係にある動作を双対 (dual) 動作と呼ぶことにする。この時、M1によって M2が生じるという関係があっても、M2によって M1が生じない場合は完全な双対動作とは言わない。しかし、一般に M2に似たような動作が生じるので不完全な双対動作ということになる。

【動作の熟達の考え方】

初心者と熟練者の動作の比較を行った場合の大きな特徴の1つは、同じ目的の動作を行っても、前者は試技のたびに異なった運動になっているのに対し後者は一定の運動が行われていることであると言われている。特にボールのキックの瞬間と言うような「運動のキメ」ではほとんど同じような動作パターンが現れることが筋電図による分析からも知られている。このことは、ある目的の動作 M1に対し他の部位の動作 M2が一定の対応をしていると考えられ、もしも M2を構成している複数の部位の一部に異変があれば動作 M1も目的とずれた動作になっていると考えられる。

【動作の双対変換】

ある目的の動作 M1を起こしたとき動作が十分熟達をしていて他の部位の動作 M2との間に完全な「双対な動作」が出来ているとしよう。そこで今度は動作 M2を起こすと動作 M1が生じるが外見上は動作 M1を起こしたときと変わらないはずである。しかし運動者の運動感覚としては M1を起こしたときとは全く異なった動作として知覚されることが考えられる。このように目的の動作 M1と力学的には同じ動作を、双対な関係にある動作 M2によって生じさせることを動作の双対変換と呼ぶことにする。このこと

を図1の例で整理してみる。

- ①通常はラケットをスイングする動作 M1という意識のもとで行われ、身体はその為の筋活動を行っていると考えられる。
- ②この時下肢は無意識的で、特に力を入れたわけではないのに動作 M2が起きる。
- ③次に下肢をねじる動作 M2を行う。試行者にとっては脚の動作という意識と筋感覚がある。
- ④ラケットのスイング動作が無意識的に力を入れなくても起きる。しかも、①と区別できない程度である。すなわち、意識的に行う場合 M1→M2と M2→M1では身体の運動としては全く異なる名称の運動であり、制御方法も違うが、ほとんど同等な力学的効果が得られていることになる。④の例では腕は脱力して球を打つという、普通に考えると非常に難しい制御をしていることになる。

【操作動作と動力動作】

前述の①～④を別の面から見てみる。M1はラケットを目標に合わせようと操作している動作と考えられ、操作動作 (operational movement, M(O)) と呼ぶことにする。③における M2は双対動作によって M1に動作のための動力 (パワー) を伝送している動作と考えられ、動力動作 (actuating movement, M(A)) と呼ぶことにする。さらに、動作の記号表現を追加しておくと、M(O) 的かつ M(A) 的な動作は M(O, A) のように表し、M(O) でも M(A) でもない動作は、例えば、ある運動の反作用、運動量、角運動量の保存などでひとりでに平衡をとるために無意識的に生じる釣り合い動作 (balancing movement, M(B)) 運動と考えられ、M(B) と表すことにする。一般に運動医学の分野では、骨格筋、わけても胴体・四肢等の大筋群を使用する運動を大筋運動あるいは粗大筋運動と呼んでいる。一方、手足には多くの細かな神経が分布された繊細な筋群もあり、これらの活動も重要な役割をはたしている。大筋群が激しく使われているときは、それらと共存する小筋群の働きは抑制されて十分機能しないと考えられる。逆に小筋群を十分に活動させて緻密な制御を行うにはその部位の

大筋群を強く働かせないようにする必要があると考えられる。しかし、スポーツの中には野球のピッチング、サッカーのキック等パワフルで、かつ精密なコントロールを必要とする動作は多い。このような場合に他の部位との間の双対動作による動力動作、つまり下肢や胴体の持つ大きなエネルギー源からの動力伝達による投球や、上体の強力な振り運動を動力動作とするキックの操作動作が必要となる。これにより大きなパワーを出しながら小筋群による精密な操作動作が可能となると考えられる。

本研究の目的は、その運動を構成している身体の部分動作の間の $M(O)$ と $M(A)$ の関係を逆にするように双対変換した場合でも、力学的には同一に見える運動について、その時に生じる筋電図と意識の関係を明らかにすることである。

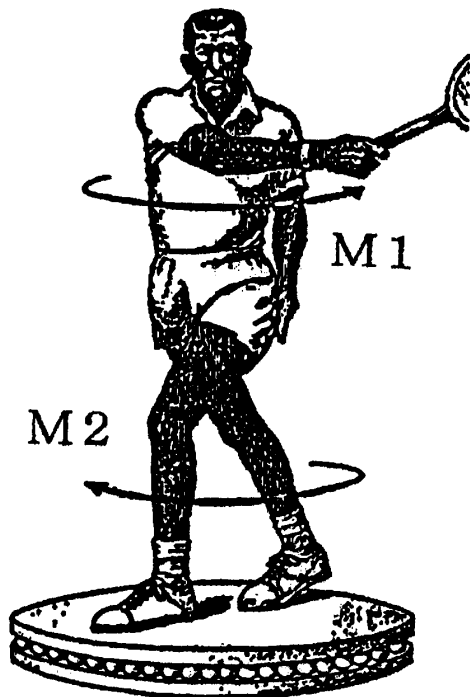


図1 ボールベアリング台上でのラケットスイング

《方法》

初心者は動かそうとするところに意識をおき、同時にその部位の筋肉を働かせるのが普通である。例えば、上半身に意識的に振りかつ力も発揮しようとする動作 $M1(O, A)$ を起こすと $M2$

(B)が生じる。この場合 $M1(O, A) \rightarrow M2(B)$ であるが、 $M2(B) \rightarrow M1(O, A)$ は、一般には生じない。つまり、 $M1$ と $M2$ は双対動作になっていない。したがって本研究の対象となる動作は円盤上で上半身の動作 $M1$ と下半身の動作 $M2$ が双対関係になるように十分練習をした動作が対象となる。

実験1

この実験は動作の双対変換を確認しやすい状態で、上記研究目的に関する基礎的事項を詳細に考察するために行われた。

被験者は27歳の男性1名(174cm, 70kg)で、この実験の内容を十分理解した者である。身体の振り回転運動を起こした時、床との摩擦抵抗を小さくするために床上に置いたボールベアリングの付いた木製の円盤(直径45cm, 厚さ2cm)の上で両足間隔を25cmにとった立位姿勢で直立させた。さらに上体における両腕の位置関係を一定に保たせるために、長さ52cm, 直径3cmの軽い紙製円筒の両端を握らせ水平状態で中央部が首の後ろ側に固定されるような姿勢をとらせ、次のような身体の左右の振り回転動作を行うよう指示した。まず始めに $M1(A)$ を起こして $M2(O)$ を生じさせる。次に $M2(A)$ を起こして $M1(O)$ を生じさせる。これを交互に数回繰り返させる。この試行は中京大学バイオメカニクス実験室内にて行い筋電図の測定と映像の記録をした。

分析はポリグラフ(日本電気三栄社製、型式361)で表面電極双極誘導法を用い、筋電図を導出した。筋電図導出箇所はこの試技を行うのに関与すると考えられる、左腰腸肋筋、右腹直筋、右外腹斜筋、左広背筋下部、左腸腰筋、右大腿二頭筋、右大殿筋の7カ所とした。各個人において上半身を捻る時、又は下半身を捻る時に使っている筋肉が異なると思われるが、同一被験者にてあらかじめ予備実験を行いサンプリングする筋肉を決定した。サンプリング周波数は1000Hzとし、パーソナルコンピューター(NEC製、PC-9821V13)に取り込だ。ハイスピードシャッターカメラ(SONY社製、DXC-325)

による正面からの映像により動作確認を行った。シャッタースピードは $1/500$ s, フレーム速度は $1/60$ s とし, カメラから回転盤の中心までの距離は6.8m とした。

筋電図の波形と映像を同期し動作中のどの時点でどの筋肉を作用させているのかを判別し, 波形の始めを動作の開始時点とし波形の終わりを動作の終了時点とした。

実験 2

この実験は実際のスポーツ場面に近い状態における動作の双対変換において, 前記研究目的に関する考察をするために行われた。

被験者は27歳の男性1名(174cm, 70kg)で, この実験の内容を十分理解した者である。右足でのインステップキックで実際にボールを蹴る動作に近い動作をボールなしで行った(インステップキックとは足の甲でボールを蹴る動作である)。分析区間は軸足(踏み込み足)の踵が接地した時点からキックの勢いで軸足が離地するまでとし, それを1つの動作とした。ここでは両腕と上体をM1, 右脚をM2とし〔M1(O), M2(A)〕と〔M1(A), M2(O)〕の2種類の動作を行った。被験者にはM(O)は形を保つ事だけを意識させ, M(A)では蹴るための脚を振る動力を生み出す事を意識させた。

分析はDR-C 2(ティアック社製・PCカードレコーダ)により行い表面電極双極誘導法を用いこの試技に関与すると思われる左大胸筋, 左僧

帽中部筋, 左外腹斜筋, 右広背筋, 右大腿直筋, 右大腿二頭筋の6カ所から筋電図を導出した。各個人においてこの2種類の動作を行う時に使っている筋肉が異なると思われるが, 同一被験者にてあらかじめ予備実験を行いサンプリングする筋肉を決定した。サンプリング周波数は1000Hzで行った。以下は実験1と同じである。なお, 軸足の接地からインパクトまでの期間を中間で二つの局面に分けて前半部分を第一局面, 後半部分を第二局面としインパクトから動作終了までを第三局面とした。

《実験結果》

実験 1

結果を図2, 3に示す。

筋電図を導出した6カ所の内, 腰腸肋筋と腸腰筋には2つの試行について差が見られなかった。

〔M1(O), M2(A)〕で動作を行った時は右腹直筋及び右外腹斜筋より筋放電が見られなかったが, 右大殿筋には放電が見られた。また, 右大腿二頭筋においては動作序盤と終盤に放電が見られたが, 中盤においてはほとんど放電は見られなかった。

〔M1(A), M2(O)〕で動作を行った時は右外腹斜筋及び右腹直筋より筋放電が見られたが, 右大殿筋には放電が見られなかった。また, 右大腿二頭筋においては動作序盤と終盤に放電が

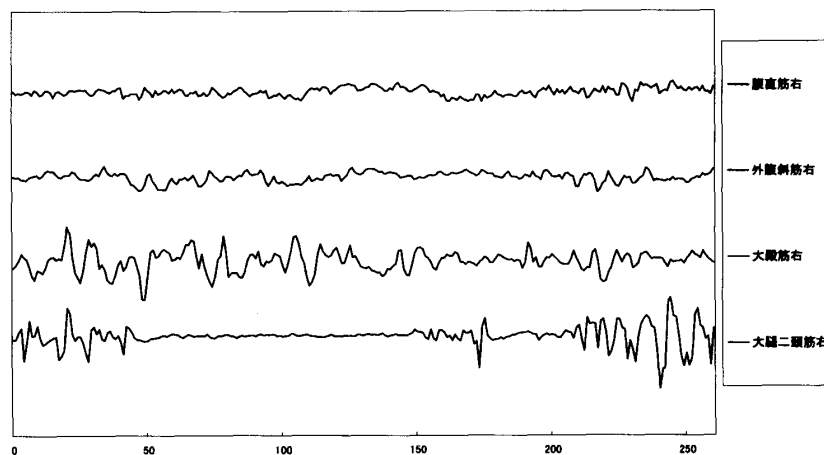


図2 (M1(O), M2(A))の時の筋電図(実験1)

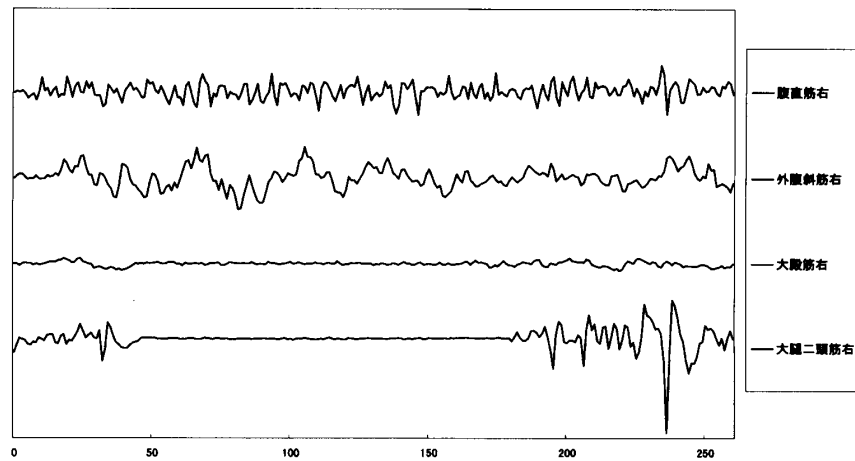


図3 (M1(A), M2(O))の時の節電図(実験1)

見られたが、中盤においては放電は見られなかった。

実験2

結果を図4, 5に示す。

左外腹斜筋, 右広背筋, 左僧帽筋中部においては[M1(O), M2(A)]と[M1(A), M2(O)]の間に差は見られなかった。

右大腿直筋において, [M1(O), M2(A)]では第一局面と第二局面の前半, 第三局面の後半で筋放電が見られた(図4 a)。 $[M1(A), M2(O)]$ では第一局面の前半にのみ筋放電が見られた(図5 b)。

右大腿二頭筋において, [M1(O), M2(A)]では第二局面と第三局面の前半で筋放電が見られた(図4 c)。 $[M1(A), M2(O)]$ では筋放電

は見られなかった。

左大胸筋において, [M1(O), M2(A)]では第一局面でのみ筋放電が見られた(図4 d)。 $[M1(A), M2(O)]$ ではすべての局面で筋放電が見られた。

《考察》

実験1

$[M1(A), M2(O)]$ で動作を行なった場合, 右外腹斜筋は上半身を左に捻るために緊張したと考えられ, それに伴い直接捻る動作には関係ないが外腹斜筋と同調した動きをする右腹直筋も緊張をしたと考えられる。外見上では上半身が左に捻られると同時に下半身は右に捻られている訳だが右大殿筋からは筋放電が見られない

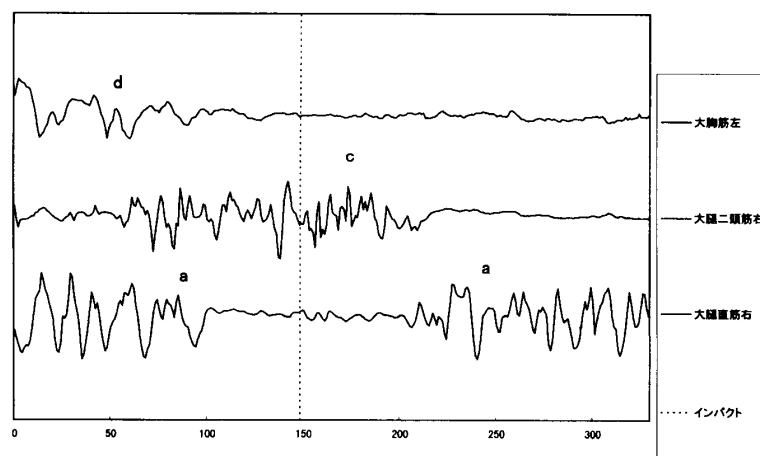


図4 (M1(O), M2(A))の時の節電図(実験2)

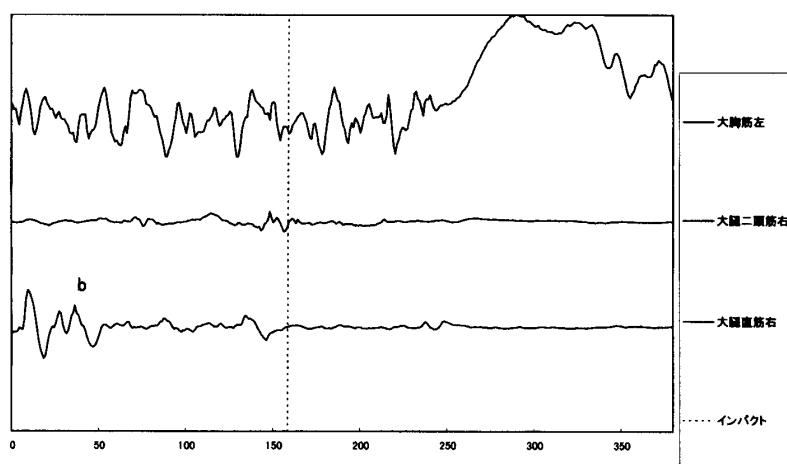


図5 (M1(A), M2(O))の時の節電図(実験2)

ので脱力した状態で力を伝達させるのみに働いて、動力を生み出していないと言える。ここでは上半身で起こした運動で下半身が動くという角運動量の保存が生じていると言える。

〔M1(O), M2(A)〕で動作を行なった場合、右大殿筋で起こした下半身を右に捻るという動作が、脱力している上半身を左に捻るという運動を起こさせていて〔M1(A), M2(O)〕で動作を行なった場合と同じ様に角運動量の保存が生じている。この場合、右外腹斜筋と右腹直筋から微量の筋放電が見られるが形を保つ事を意識しているために起ったものと考えられ動力を生み出しているものではないと思われる。

〔M1(A), M2(O)〕と〔M1(O), M2(A)〕では外見上同じ動作だが明らかに違う意識のもとで動作が行われており、また筋電図からも違う動力のもとで動作が行われていることがわかる。意識のみではなく筋肉の活動においても1つの動作を、動力動作部分(M(A))と操作動作部分(M(O))の2つの動作部分に分けることができ、M(A)とM(O)が入れ替わった状態でも行える事が明らかになった。これにより、この動作は双対動作と言える。

生体として神経系(反射)なども絡んでくると思われるがエネルギーのやりとりとしてM1とM2が関連している事がいえ、実際の動作の中で双対動作の原理を使うことによってM1(M2)がM2(M1)の効果高めると思われる。しかし今までその方法が明らかにされていない

かった。今回は簡単な動作で行ったが、さらに実際のスポーツの中で行われる動作で双対動作によりどのような効果があるのか見ていく必要がある。

実験2

〔M1(O), M2(A)〕で動作を行なった場合、左大胸筋では第一局面でしか筋放電は見られなかったため、動作全般を通して左腕の振りを積極的に使っているとは思えない(図4d)。それに対して、右大腿直筋は第二局面の後半と第三局面の前半で筋放電が見られないものの、この動作全般において筋放電が見られるため右脚の振りがこの動作を行なうための動力を生み出しているものと考えられる(図4a)。第二局面の後半と第三局面の前半で右大腿直筋で筋放電が見られず右大腿二頭筋で筋放電が見られるのは、通常ではボールがあり衝撃があると思われる所に実際は何もないため、被験者自身が脚の振れ過ぎを防ごうとして操作して振ったためと思われる(図4c)。

〔M1(A), M2(O)〕で動作を行なった場合、右大腿直筋では第一局面でのみ筋放電が見られるがそれ以外では放電が見られないため動作全般を通して積極的に使っているとは考えられない(図5b)。それに対して、左大胸筋では電極がはがれたと考えられる時点までは筋放電が見られたためこの動作を行うための動力を生み出しているものと考えられる。電極がはがれた原

因としては、腕の身体への引き寄せ具合に違いがあり M1(A)ではより近くに引き寄せられたために電極が浮いてしまったと思われるが2つの動作では外見上大きな違いはなかった。

この動作でも実験1と同様に〔M1(A), M2(O)〕と〔M1(O), M2(A)〕では外見上同じ動作だが明らかに違う意識のもとで動作が行われている。また筋電図からも違う動力、すなわち筋肉の活動として M(A)と M(O)が入れ替わった状態のもとで動作が行われていることが明らかになり、双対動作が存在している事が言える。

これにより実際にスポーツの中で行われる動作に似せた1つの動作を、実験1と同様に意識のみではなく筋肉の活動として動力を生み出す部分（動力動作部分, actuating movement, M(A)）と形を保つ部分（操作動作部分, operational movement, M(O)）の2つの動作部分に分けることができ M(A)と M(O)が入れ替わった状態でもその動作を行える事が明らかになった。

《まとめ》

本研究は双対動作の概念の明確化と記号表記法を確定し、スポーツの中の動作に及ぼす双対動作の影響を2つの実験により明らかにするこ

とを目的とした。研究の結果、次のような事が分かった。

双対動作において外見上同じ動作であっても意識的にも、筋肉の活動においても違いが起こる事が証明された。それによって1つの動作が動力を生み出す動作（動力動作部位, actuating movement, M(A)）とコントロールを主目的とする動作（操作動作部位, operational movement, M(O)）の2つの動作部位に分けられることがわかり、その2つの動作部位の働きが入れ替わるという動作の双対変換が行われている事が明らかになった。

参考文献

- 1) 小林一敏：意識にのほらない人間の制御技術，日本機械学会 Dynamic and Design Conference '99基調講演，[No99-7]講演論文集，1999
- 2) 高山伸也：双対動作における筋電図と意識の関係，中京大学大学院体育学研究科修士論文，1999
- 3) 高橋秀俊：双対性をめぐって「数理と現象」，（岩波書店）1974